

## РЕГИСТРАЦИЯ РЕДКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРАЛЬНОЙ ЧАСТИЦЫ С ЭНЕРГИЕЙ БОЛЬШЕ 15 ТЭВ В СТРАТОСФЕРНОЙ РЕНТГЕН-ЭМУЛЬСИОННОЙ КАМЕРЕ (ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА RUNJOB)

И. С. Заярная, Т. А. Ирхина

*В публикации сообщается о редком событии, наблюдаемом в ядерной эмульсии. В российско-японском баллонном эксперименте RUNJOB зарегистрировано взаимодействие нейтральной частицы высокой энергии в ядерно-эмульсионной пленке рентген-эмульсионной камеры экспозиции 1999 года.*

**Ключевые слова:** галактические космические частицы, методика рентген-эмульсионных камер, поиск первичной частицы, состав космического излучения.

*Введение.* Российско-японский баллонный эксперимент RUNJOB проводился с 1995 г. по 1999 г. [1, 2]. Рентген-эмульсионные камеры (РЭК) с площадью установки  $0.4 \text{ м}^2$  экспонировались в стратосфере на глубине  $\approx 10 \text{ г/см}^2$  в течение 6–7 суток по трассе Камчатка–Вольск. В результате обработки экспериментальных данных, полученных по экспозиции десяти РЭК RUNJOB, в 2005 году были представлены результаты по составу и спектру первичного космического излучения в области энергии  $10^{13} - 10^{15} \text{ эВ/нуклон}$ , близкой к излому в спектре космического излучения [3]. В результирующий спектр протонов были включены нуклон-ядерные взаимодействия, зарегистрированные в РЭК экспозиции 1999 года, с высоким порогом отбора событий по суммарной энергии, выделившейся в нейтральную компоненту вторичных частиц,  $\Sigma E_\gamma \geq 5 \text{ ТэВ}$ . В связи с большим количеством событий ( $\approx 50\%$ ) [1], отнесенных в протонную группу, для которых треки первичной частицы не был обнаружен, обработка нуклон-ядерных взаимодействий продолжилась. В камере RUNJOB XI-A, экспонированной в 1999 году в течение 146 часов на глубине атмосферы  $\sim 10 \text{ г/см}^2$ , зарегистрировано взаимодействие нейтральной частицы с веществом основы ядерно-эмульсионной пленки с энергией  $\Sigma E_\gamma \approx 4 \text{ ТэВ}$ . Это редчайшее событие в эксперименте RUNJOB.

Характеристики события № 349 (RUNJOB XI-A). Данное событие (см. рис. 1) – это взаимодействие нейтральной космической частицы в основе двухсторонней ядерно-эмульсионной пленки, расположенной примерно в середине калориметра рентген-эмульсионной камеры RUNJOB XI-A. Траектория частицы проходит через боковую поверхность и весь калориметр РЭК. Зенитный угол частицы определяется как  $\text{tg}(\theta) = 2.33$ . Суммарная энергия, выделившаяся в нейтральную компоненту вторичных частиц, определена фотометрическим методом по рентгеновским пленкам калориметра и составляет  $\Sigma E_\gamma \approx 4$  ТэВ.

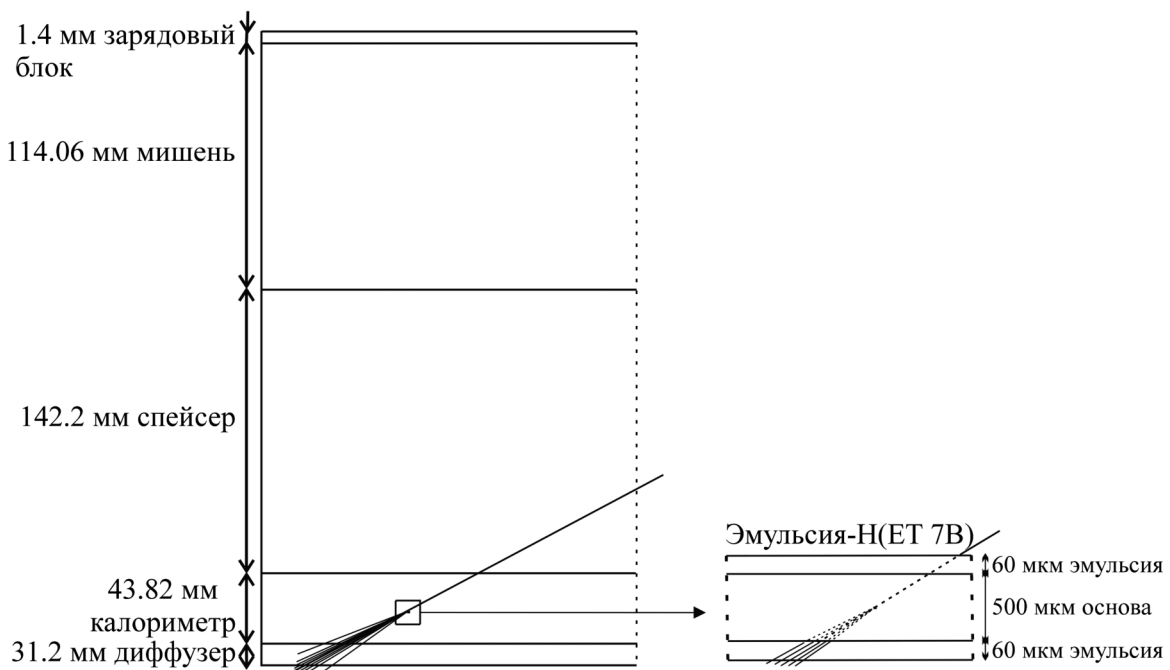


Рис. 1: Схема рентген-эмульсионной камеры RUNJOB XI-A.

Расстояние от вершины взаимодействия до нижней пленки калориметра с учетом угла падения частицы на камеру превышает 4 каскадные единицы. Энергия первичной частицы в предположении, что взаимодействие нуклон-ядерное, составляет  $E_0 = 15.71$  ТэВ.

Местоположение трека первичной частицы определялось по новому методу поиска и прослеживания первичных частиц, регистрируемых ядерными фотоэмульсиями [4]. Первоначально, определение координат трека первичной частицы было сделано для уровня верхнего эмульсионного слоя ядерной пленки. Поскольку трек отсутствовал, то просматривалась нижняя эмульсия пленки, где была найдена струя вторичных ча-

стиц с яркой центральной частью, зенитный и азимутальный углы которой совпадали в пределах экспериментальных ошибок с соответствующими углами прослеживаемого ядерно-электромагнитного каскада. Ошибка предсказания координат струи вторичных частиц составляет  $\approx 21$  мкм.

*Обсуждение.* Поток вторичных частиц на уровне экспозиции установки ( $\sim 10$  г/см<sup>2</sup>) включает в себя как заряженные частицы, так и нейтральные (нейтроны и гамма-кванты), образующиеся в результате взаимодействия частиц первичного космического излучения с воздухом остаточной атмосферы. По ускорительным данным сечение неупругого взаимодействия фотон-ядерных реакций намного меньше, чем для нуклон-ядерных взаимодействий, поэтому в качестве первичной частицы для рассматриваемого взаимодействия предположим нейтрон. По расчетам, проведенным в коллаборации RUNJOB [5], относительный вклад нейтронов ( $P_n$ ) с энергиями  $> 20$  ТэВ в полный поток однозарядных частиц и нейтронов ( $P$ ) на глубине атмосферы  $\sim 10$  г/см<sup>2</sup> в интервале зенитных углов  $\theta \in [0^\circ - 70^\circ]$  составляет  $P_n = 4\%$ . При углах  $\cos(\theta) \in [0.25 - 0.45]$   $P_n$  изменяется от 6.7% до 10.6% (см. рис 2).

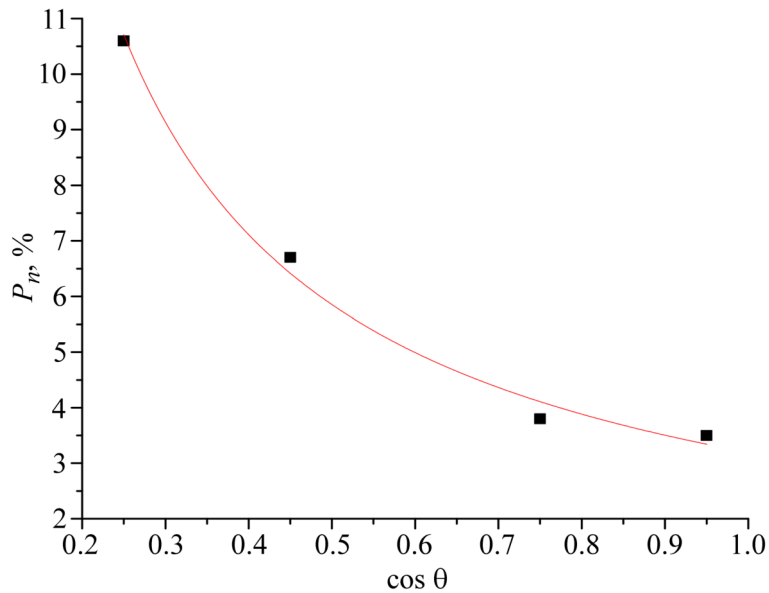


Рис. 2: Относительный вклад нейтронов на уровне атмосферы  $\sim 10$  г/см<sup>2</sup> в полный поток однозарядных частиц и нейтронов.

Экспериментальное событие имеет зенитный угол первичной частицы  $\cos(\theta) \approx 0.4$ , поэтому относительный вклад вторичных нейтронов  $P_n$  с зенитными углами в пределах экспериментальных ошибок в поток  $P$  не превышает 9%. Поглощение протонов на глу-

бине атмосферы  $\sim 10$  г/см<sup>2</sup> невелико и в интервале зенитных углов  $\cos(\theta) \in [0.25 - 0.45]$  отношение интенсивности наблюдаемых протонов ( $I_{\text{obs}}^p$ ) к первичному потоку ( $I_{\text{prim}}^p$ ) составляет  $(I_{\text{obs}}^p/I_{\text{prim}}^p) \approx 0.74 - 0.83$  [5]. Поскольку эффективность регистрации нейтронов и протонов в РЭК одинакова, то среди четырех событий, зарегистрированных в установке RUNJOB XI-A, отнесенных к нуклон-ядерным взаимодействиям, с энергией первичной частицы  $> 12$  ТэВ в интервале  $\cos(\theta) \in [0.25 - 0.45]$  первичных протонов будет не меньше 3-х, а количество нейтронов с углами, близкими к  $\cos(\theta) \approx 0.4$ , не превышающими экспериментальных ошибок, будет  $P_n \times 4 = 0.36$  события. По экспозиции всех десяти РЭК RUNJOB среди зарегистрированных событий, отнесенных к нуклон-ядерным, в рассматриваемом интервале по энергии и зенитному углу, нейтронов будет не более  $P_n \times 105 = 9.5$  события. Следует отметить, что вероятность взаимодействия нуклона в слоях РЭК пропорциональна толщине слоев в единицах пробега для взаимодействия. Как видно из табл. 1, вероятность взаимодействия нуклона в ядерно-эмульсионной пленке на порядок меньше, чем в свинце, т.е., если предположить, что первичная частица во взаимодействии № 349 (RUNJOB XI-A) – нейтрон, то данное событие очень редкое.

Т а б л и ц а 1

Толщина слоев, пересекаемых траекторией первичной частицы в событии № 349  
РЭК RUNJOB XI-A

Секции РЭК, пересекаемые траекторией первичной частицы в событии № 349 (RUNJOB XI-A)	Пластины РЭК: колич. слоёв, тип эмульсии	Толщина, см	Длина пробега взаимодействия протона
Спейсер	1, styro	1	0.00026
	2, Em H	0.62	0.00226
Калориметр	13, Em H; 1, Em I	8.68	0.01568
	28, X200	0.63	0.01316
	14, Pb(2.0 мн)	2.8	0.1621

*Заключение.* В эксперименте RUNJOB примерно в половине событий, идентифицированных как нуклон-ядерные взаимодействия, трек первичной частицы не обнаружен

[6, 7]. Данный экспериментальный факт не объясняется методическими причинами [8]. Поскольку входящий трек частицы в событии № 349, идентифицированном как нуклон-ядерное взаимодействие, отсутствует, то данная частица возможно принадлежит к значительному потоку нейтральных частиц, наблюдаемых на уровне экспозиций рентген-эмульсионных камер. Однако по расчетам, проведенным по модели МС0, доля нейтральных частиц (нейтронов) в общем потоке протонов, пионов, каонов и нейтральных частиц, падающих на установку, не более 4% в исследуемом интервале углов и энергий, поэтому вышеописанное событие становится с учетом местоположения вершины взаимодействия (основа ядерной пленки) маловероятным. Возникшее противоречие между экспериментом и расчетом требует теоретического анализа и обработки дополнительного экспериментального материала: событий, отнесенных в эксперименте RUNJOB к нуклон-ядерным взаимодействиям, с отсутствующим треком первичной частицы.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] A. V. Apanasenko et al., *Astroparticle Phys.* **16**, 13 (2001).
- [2] V. A. Derbina et al., *Astrophysical Journal* **628**, 21 (2005).
- [3] M. Nareyama et al., *Proton and Helium Spectra Obtained by RUNJOB Experiment*, [//www.icrr.u-tokyo.ac.jp/can/icrc2005/Proceedings/Volume3\\_index.html](http://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/can/icrc2005/Proceedings/Volume3_index.html)
- [4] И. С. Заярная, Препринт № 1 (ФИАН, Москва, 2010).
- [5] Л. Г. Свешников и др., Препринт 97-43/494 (НИИЯФ МГУ, Москва, 1997).
- [6] И. С. Заярная, *Краткие сообщения по физике ФИАН* **40**(11), 29 (2013).
- [7] I. S. Zayarnaya and T. A. Irkhina, *Proc. ISVHECRI 2016 (Web of Conf., 2016)*.
- [8] И. С. Заярная, *ЯФ* **71**(2), 1 (2008).

Поступила в редакцию 31 октября 2018 г.

После доработки 8 апреля 2019 г.

Принята к публикации 9 апреля 2019 г.